Über die

# Oberflächenspannung einiger organischer Substanzen

in wässeriger und alkoholischer Lösung

dargestellt

als Funktion der Konzentration und Temperatur.

---

Inaugural-Dissertation

der

hohen philosophischen Fakultät der Universität Rostock

zur

Erlangung der Doktorwürde

vorgelegt

von

**Peter Oettgen**

Ingenieur aus Köln.

ACAD
LUGD.BAT.
BIBL.

**Rostock.**

Carl Boldt'sche Hof-Buchdruckerei.

1899.

Referent: Herr Professor Dr. phil. et med. **L. Matthiessen.**

*Dem Andenken*

*meines verstorbenen Vaters*

*gewidmet.*

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41552725_0126

# Einleitung.

Schon um die Mitte des siebzehnten Jahrhunderts wurden von Gelehrten der Akademie in Florenz Kohäsionserscheinungen an Flüssigkeiten beobachtet. Die Physiker der Galilei'schen Schule kannten das Ansteigen von Flüssigkeiten in Kapillarröhren und beschrieben damals diese Erscheinung, zu deren Erklärung verschiedene Theorien aufgestellt wurden.[1] Einige Zeit später, und zwar zu Anfang des achtzehnten Jahrhunderts, beschrieb der Schüler Newton's Brook Taylor[2] die Kohäsionserscheinungen, welche bei Versuchen mit Adhäsionsplatten eintreten. Auch Newton selbst hat sich mit den Kohäsionserscheinungen und ihrer Erklärung beschäftigt. In der Folge finden wir bis zum Schluss des achtzehnten Jahrhunderts noch eine grosse Anzahl von Physikern, welche sich mit Untersuchungen der Kohäsionserscheinungen befassten, ohne es jedoch zu einer der heutigen Auffassung entsprechenden Erklärung der Erscheinung zu bringen. Besonders bemerkenswert sind die Versuche von Musschenbroek, mittels Haarröhrchen und Tropfen, sowie die Versuche von Morveau, Besile,

[1] Eine vorzügliche Übersicht über die ältere Litteratur, seit 1657 findet man in Frankenheim's „Lehre von der Kohäsion," Breslau 1835.

[2] Brook Taylor: Concerning the ascent of water between two glass planes. Phil. Trans. 1712. Charles Hutton, an abridgement of the Phil. Trans. V vol.

Achard und Dutour[1] mittelst Adhäsionsplatten, von denen der letztere schon die Beobachtung machte, dass das Gewicht, welches eine benetzbare Adhäsionsplatte von der Flüssigkeit abzieht, unabhängig vom Stoffe der Platte ist. Mit dem Anfang des neunzehnten Jahrhunderts beginnen auch die Versuche einer mathematischen Erklärung der Kohäsionserscheinungen und zwar sind hier vor allen die Namen der bedeutenden Mathematiker Laplace,[2] Poisson[3] und Gauss[4] zu nennen. Sehr genaue, aber leider nur sehr wenige Versuche aus diesem Zeitraum rühren von Gay-Lussac her. Dieselben findet man im letzten Teil dieser Abhandlung angegeben. Nachdem durch die Vorstehenden die Theorie der Kohäsionserscheinungen soweit gefördert war, dass ein volles Verständnis der Ursachen derselben erreicht werden konnte, traten die Experimentaluntersuchungen wieder in den Vordergrund und man untersuchte auf Grund der gewonnenen Gesetze, nicht nur die durch die Kohäsionserscheinungen bedingten Kapillaritätskonstanten der Flüssigkeiten, sondern auch deren Abhängigkeit von der Temperatur und der Konzentration. Gleichzeitig hatte die Theorie auch neue Methoden erschlossen. Während man früher nur mit Kapillarröhren und Abreissplatten untersuchte, findet man jetzt auch die Methode der Blasenmessung, der Tropfenmessung und der Messung der Tragkraft flüssiger Lamellen im Gebrauch.[5]

---

[1] Betreffs der Werke der hier angeführten Physiker verweisen wir auf die schon angeführte „Lehre von der Kohäsion“ von Frankenheim. Breslau 1835.

[2] Laplace: Mécanique céleste I Livre IV. Theorie de l'action capillaire.

[3] Poisson: Nouvelle théorie de l'action capillaire 1831. (Eine Übersicht über die Theorie hat Link, Pogg. Ann. 1832. XXV, gegeben.)

[4] Gauss: Principia generalia theoriae figurae fluidorum in statu aequilibrii. 1830.

[5] Eine gute Übersicht über die bis jetzt angewendeten Methoden findet sich in Wüllner „Lehrbuch der Experimentalphysik“. V. Auflage, I. Band S. 369.

Die hervorragendsten Arbeiten in dieser und der nachfolgenden Zeit verfassten Buys-Ballot,[1] Brunner,[2] Frankenheim,[3] Wolf,[4] Buliginsky,[5] Sondhauss,[6] Quincke,[7] Volkmann,[8] Rother,[9] Schiff,[10] Traube,[11] Timberg.[12]

Buys-Ballot arbeitete ausser mit Kapillarröhren und der Methode der Blasenmessung mit Abreissplatten, Frankenheim ebenfalls mit Kapillarröhren und Abreissplatten, Sondhauss mit Drahtringen, Timberg nach der Methode der Messung von Luftblasen, der Tragkraft flüssiger Lamellen und nach der Methode der Bestimmung des Gewichtes abfallender Tropfen. Die Übrigen arbeiteten mit Kapillarröhren.

Den Anstoss zu einer höchst einfachen und auf ganz neuen Gesichtspunkten beruhenden Methode, gab L. Matthiessen durch seine Mittheilungen über Versuche mit kleinsten Transversalwellen der Flüssigkeiten.[13]

Er machte die Beobachtung, dass die mittelst zweier an den Zinken einer Stimmgabel befestigten Nadeln erregten Wellen sich bei gleicher Breite nicht mit gleicher Geschwindigkeit fortpflanzten und erklärte diese Er-

---

[1] Dissertatio inauguralis de Synaphia et Prosaphia. Trajecti ad Rhenum (Utrecht) 1844 und Pogg. Ann. Bd. 71, 1847.

[2] Pogg. Ann. 70, 1847.

[3] Lehre von der Kohäsion, Breslau, und Pogg. Ann. 72, 1847.

[4] Pogg. Ann. Bd. 101, 102, 1857.

[5] Pogg. Ann. Bd. 134, 1868.

[6] Pogg. Ann. Ergb. 8, 1877.

[7] Pogg. Ann. Bd. 160, 1877.

[8] Wied. Ann. Bd. 17, 1882.

[9] Wied. Ann. Bd. 21, 1884.

[10] Lieb. Ann. d. Chemie, 1884.

[11] Journ. f. prakt. Chemie, N. F. 31, 1885.

[12] Wied. Ann. Bd. 30, 1887.

[13] Mitteilungen des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse in Schleswig-Holstein (1867), 8. Heft S. 21. Pogg. Ann. Bd. 134, 1868. Pogg. Ann. Bd. 141, 1870. Schlömilch's Zeitschrft. f. Math. u. Physik, Bd. 21, 1876.

scheinung dadurch, dass er nicht nur eine Abhängigkeit der Wellen von der Schwerkraft, sondern auch von der spezifischen Kohäsion der Flüssigkeiten annahm. Kurz nachher stellte W. Thomson in mehreren Briefen an Prof. Tait eine Formel für die Beziehung zwischen Wellenlänge und Fortpflanzungsgeschwindigkeit für Wellen unter Einwirkung der Schwere und der Oberflächenspannung auf.[1] Die für hinreichend tiefe Gefässe gültige Formel lautet:

$$v^2 = \frac{\lambda}{2\pi} g + \frac{2\pi}{\lambda} \tau,$$

wo g die Gravitationskonstante und $\tau$ die spezifische Kohäsion der Flüssigkeiten bedeutet.[2] Eine Ableitung dieser Formel, sowie eine Angabe der einschlägigen Litteratur hat O. Riess gegeben.[3] Da diese Methode neben der Methode der Abreissplatten den hauptsächlichen Inhalt der nachfolgenden Abhandlung bilden wird, so werde ich im nachfolgenden Abschnitt eine meines Wissens nach zuerst von Wüllner veröffentlichte kürzere Ableitung dieser Formel,[4] sowie eine Diskussion welche als Auszug der schon oben zitierten von Matthiessen veröffentlichten Abhandlungen gelten kann, geben.

---

## II. Die Thomson'sche Formel, Diskussion derselben Formel für die Methode der Abreissplatten.

Zur Entwickelung der Thomson'schen Gleichung stellen wir folgende Betrachtungen an. Die auf der

---

[1] Thomson, Phil. Mag. (4) vol. 42, pag. 375, 1871.

[2] Diskussion der Formel siehe Matthiessen, Wied. Ann. Bd. 32. 1887 und Wied. Ann. Bd. 38, 1889.

[3] Exner's Repert. der Physik 1890.

[4] Wüllner, „Lehrbuch der Experimentalphysik", I. Band, V. Auflage, S. 822.

Oberfläche einer Flüssigkeit entstehenden Wellen sind in den Wellenbergen konvex, in den Wellenthälern konkav gegen die Abscissenaxe gekrümmt. (Siehe Textfigur 1.)

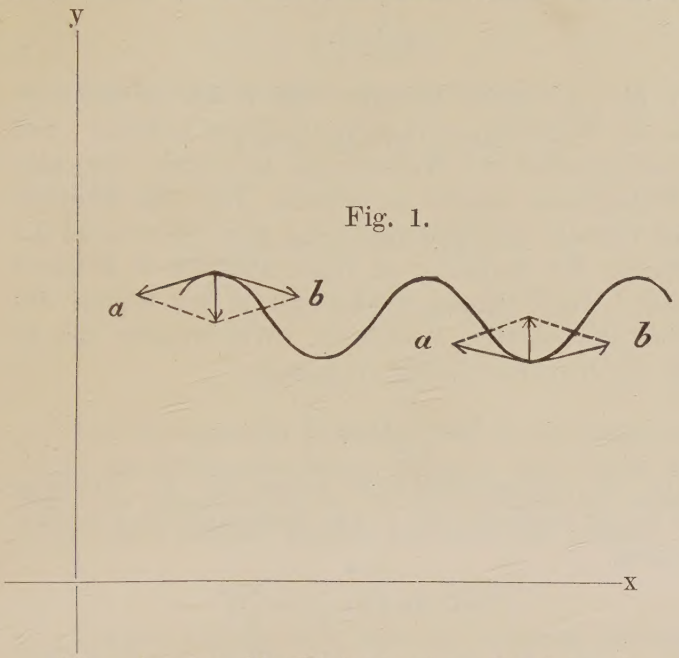



Fig. 1.

Eine in der Oberflächenhaut vorhandene Spannung wird die Haut auseinander zu ziehen versuchen, also in den Bergen und Thälern in der durch die Pfeile angedeuteten Richtung a und b wirken. Setzt man dieselben zu einer Resultante zusammen, so erkennt man, dass in den Wellenbergen die Schwerkraft durch die Resultante der Oberflächenspannung vergrössert, in den Wellenthälern verkleinert wird. Wir erkennen hierdurch sofort, in welcher Weise die Gerstner'sche Gleichung der Wellenbewegung

$$v^2 = \frac{\lambda}{2\pi} \cdot g$$

umzuformen ist, um den Einfluss der Oberflächenspannung zu berücksichtigen. Wir brauchen nur die Beschleunigung durch die Schwere, in den Wellenbergen um die durch

die Resultante der Oberflächenspannung hervorgerufene Beschleunigung zu vermindern, resp. in den Wellenthälern zu vermehren. Wir setzen also statt g den Ausdruck

$$g \pm \frac{\tau}{r}$$

wo $\tau$ die spezifische Kohäsion und r den Krümmungsradius des Wellenberges resp. Wellenthales bedeutet. Der Krümmungsradius des Wellenberges ist positiv, derjenige des Wellenthales negativ zu nehmen. Da r ein Minimum in den Gipfeln und Thälern ist, so wird vorwiegend die Resultante der Spannung in diesen Punkten in Betracht kommen. Dem Obigen gemäss gilt in der Formel das positive oder negative Vorzeichen. Wir erhalten also an Stelle der Gerstner'schen Gleichung

$$v^2 = \frac{\lambda}{2\pi}\left(g + \frac{1}{r}\tau\right).$$

In der Undulationstheorie haben wir als Gleichung einer in der Richtung der x-Axe fortschreitenden Wellenbewegung

$$y = a \cdot \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

worin y die Erhebung an der Stelle x über dem Flüssigkeitsspiegel bedeutet. Aus dieser können wir den Wert von r mittelst der Formel für den Krümmungsradius berechnen.

$$r = \frac{\left\{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right\}^{\frac{3}{2}}}{\frac{d^2y}{dx^2}}$$

$\frac{dy}{dx}$ ist die trigonometrische Tangente des Winkels, welchen eine Tangente in dem betrachteten Punkte mit der x-Axe bildet. Da es sich hier nur um ganz flache Kräuselungen handelt, so kann das Quadrat dieser Tangente gegen 1 vernachlässigt werden und wir erhalten:

$$r = \frac{1}{\frac{d^2 y}{d x^2}} \text{ oder}$$

$$\frac{1}{r} = \frac{d^2 y}{d x^2}.$$

Durch Differentiation der Gleichung

$$y = a \,.\, \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

erhalten wir

$$\frac{d y}{d x} = - a \frac{2\pi}{\lambda} \,.\, \cos 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right),$$

$$\frac{1}{r} = \frac{d^2 y}{d x^2} = - a \frac{4\pi^2}{\lambda^2} \,.\, \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

$$\frac{1}{r} = - \frac{4\pi^2}{\lambda^2} \,.\, y.$$

Das Minuszeichen bedeutet, dass an der betrachteten Stelle der Krümmungsradius entgegen dem Werte von $y$ liegt. In diesem Falle, wo es sich nur um den absoluten Wert von r handelt, können wir denselben positiv,

$$\text{also } \frac{1}{r} = \frac{4\pi^2}{\lambda^2} \,.\, y \text{ nehmen.}$$

Ebenso wie in dem von der Schwere abhängigen Gliede die Niveaudifferenz nicht eingeht, haben wir auch in dem vom Oberflächendruck abhängigen Gliede y 1 zu setzen; wir erhalten dann für unsere obige Gleichung:

$$\frac{1}{r} = \frac{4\pi^2}{\lambda^2}.$$

Dies, in die vorhin aufgestellten eingesetzt, giebt

$$v^2 = \frac{\lambda}{2\pi}\left(g + \frac{4\pi^2}{\lambda^2}\tau\right),$$

$$v^2 = \frac{\lambda}{2\pi} g + \frac{2\pi}{\lambda}\tau,$$

welche mit der im vorigen Abschnitt erwähnten Thomsonschen Gleichung identisch ist. In dieser Gleichung ist $\tau$ die spezifische Kohäsion

$$\tau = T \,.\, g,$$

wo $T$ gleich der Gay-Lussac'schen Kohäsionskonstante ist. Wir erhalten also mit Einsetzung des Wertes für g (= 981,4)

$$v^2 = 981{,}4\left(\frac{\lambda}{2\pi} + T.\frac{2\pi}{\lambda}\right).$$

Für $v^2 = n^2 . \lambda^2$ gesetzt, ergiebt sich hieraus $T$ zu

$$T = \frac{n^2 . \lambda^2}{2\pi g} - \frac{\lambda^2}{4\pi^2}.$$

Man erkennt unmittelbar aus der Formel

$$v^2 = 981{,}4\left(\frac{\lambda}{2\pi} + T.\frac{2\pi}{\lambda}\right),$$

dass für Wellen von grosser Länge das zweite, für Wellen von sehr kleiner Länge das erste Glied in der Klammer ohne Einfluss ist. So ist z. B. für $T = 0{,}074$ und für eine Welle mit $\lambda = 20$ cm. Das erste Glied in der Klammer gleich 3,183, das zweite Glied gleich 0,032, also kaum messbar. Bei sehr kleinen Wellen tritt das erste Glied zurück. Für eine Welle von 0,25 cm Länge ist das erste Glied in der Klammer 0,0398, das zweite Glied gleich 1,860.

Für Wellen, welche mit Stimmgabeln unter 229 Schwingungen erregt werden, ist die Formel

$$T = \frac{n^2 . \lambda^2}{2\pi g} - \frac{\lambda^2}{4\pi^2}$$

anzuwenden.

Hat die Stimmgabel über 229 Schwingungen, so gilt für $T$ die Gleichung

$$T = \frac{n^2 \lambda^2}{2\pi g},$$

da die durch dieselben erregten Wellen nur unter dem Einfluss der Oberflächenspannung stehen. Der Konstanten $T$ wird in dieser Arbeit nach dem Vorgange der früheren Bearbeiter die Bezeichnung „Oberflächenspannung" beigelegt.

Um Missdeutungen zu vermeiden, dürfte es an dieser Stelle nicht überflüssig sein, kurz die in der Litteratur

vorkommenden Bezeichnungsweisen der Kohäsionskonstanten zu besprechen. Wir bezeichneten mit $\tau$ die spezifische Kohäsion. Während Quincke unter der von ihm mit $a^2$ bezeichneten spezifischen Kohäsion den Wert $a^2 = \frac{2\tau}{g}$ versteht, da $a^2$ bei ihm $= \frac{H}{g \cdot s}$ ist, wo s das spezifische Gewicht bedeutet, so ergiebt sich $\frac{H}{g \cdot s} = \frac{2\tau}{g}$ für $\tau$ seinen Wert $T \cdot g$ gesetzt, giebt $\frac{H}{g \cdot s} = 2T$ oder $\frac{H}{2} = T \cdot g \cdot s$. Diesen Wert bezeichnet Quincke gegenüber unserem Wert $T$ mit Oberflächenspannung. Andererseits ergiebt sich aus

$$a^2 = \frac{2\tau}{g} = \frac{2T \cdot g}{g}$$

$$a^2 = 2T$$

$$\text{oder } T = \frac{a^2}{2}.$$

Aus den mittelst der Methode der Abreissplatten gewonnenen Werten des Abreissgewichtes p wurde mittelst der von Poisson[1] aufgestellten Gleichung

$$p = \pi \cdot s \left( a \cdot r^2 \sqrt{2} - \frac{a^2 \cdot r}{3} \right)$$

$a^2$ ermittelt und hieraus mittelst der vorhin aufgestellten Relation $T = \frac{a^2}{2}$ der Wert der Oberflächenspannung.

In obiger Gleichung bedeutet p das zum Abreissen der ausbalanzierten an der Oberfläche der Flüssigkeit adhärierenden Platte nötige Gewicht.

$a^2$ die spezifische Kohäsion der Flüssigkeit (nach Quincke),

r den Radius der Adhäsionsplatte in cm,

s das spezifische Gewicht der Flüssigkeit $\pi = 3{,}1416$.

[1] Poisson: nouvelle théorie de l'action capillaire. p. 233. Ein Auszug aus dieser Theorie findet sich bei Link. Pogg. Ann. 1832. XXV. S. 270.

Aus der Poisson'schen Gleichung erhalten wir:

$$a^2 - \frac{9}{2} r^2 \left\{ 1 \pm \left( 1 - \frac{2 \frac{p}{s}}{2 \pi r^3} \right)^{\frac{1}{2}} \right\}^2$$

Der Ausdruck für $a^2$ darf kein nur von r, nicht zugleich von p abhängiges Glied enthalten, infolgedessen ist hier von beiden Vorzeichen das Minuszeichen zu wählen. Von der Entwickelung der Poisson'schen Gleichung dürfte mit Hinsicht auf die vorhandene Litteratur Abstand genommen werden.

---

## III. Beschreibung der Versuche.

Die Versuche mit Stimmgabeln wurden in folgender Weise durchgeführt und zwar wurde von den beiden von Matthiessen[1] angegebenen Untersuchungsmethoden:

1) Methode der Beobachtung der stehenden Interferenzbilder,
2) Beobachtung der Augenblicksbilder der fortschreitenden primären Wellen,

nur die erstere angewendet.

Der Gang der Untersuchung ist folgender: An eine Stimmgabel mit genau bekannter Schwingungszahl[2] wurden mit Wachs zwei Nadelspitzen befestigt. Die Stimmgabel wurde, wie Fig. 1 der Tafel anzeigt, in den verschiebbaren Balken eines kräftigen Holzgestelles eingespannt und zirka 2 mm tief in die in dem unten stehenden Gefäss befindliche Flüssigkeit eingetaucht. Wird die Stimmgabel jetzt mit einem Filzhammer angeschlagen, so entstehen auf der Flüssigkeitsoberfläche zwei fort-

[1] Wiedemann's Ann. der Physik und Chemie XXVIII, 1889.

[2] Die Schwingungszahl der hier verwendeten Stimmgabeln war schon früher von Riess bestimmt worden. Über die Methode hierzu siehe Riess, Exner's Rep. der Physik 1890.

schreitende Kreiswellensysteme und zwischen den Zinken ein System hyperbolischer Rippungen. Es ist nun möglich, mittelst der nachfolgend beschriebenen Einrichtung den Abstand zweier Rippungen resp. Knotenlinien von einander sehr genau zu messen. Ist d der Abstand zweier Knotenlinien in cm, m die Anzahl der Linien zwischen denselben, so ergiebt sich hieraus die Wellenbreite $\lambda$ zu

$$\lambda = \frac{2\,d}{m+1}\ \text{cm}.$$

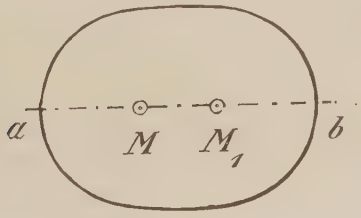
Der zum Anschlagen benutzte Filzhammer hatte einen Stiel von Fischbein und wurde mittelst einer Schraube am äussersten Ende festgehalten, sodass, wenn man den Hammer aus seiner Gleichgewichtsstellung beugte und losschnellen liess, er gegen die eingespannte Stimmgabel schlug und diese erregte. Es wurde nun durch einige Versuche, zunächst die günstigste Amplitude für den Hammer gesucht und hierauf dem Hammerstiel durch einen umgebogenen Stift ein Anschlag gegeben, welcher gerade die eben festgestellte Amplitude begrenzte, sodass dieselbe ohne jede Mühe während der Dauer des Versuches festgehalten werden konnte. Diese Amplitude ist natürlich für jede Stimmgabel und jede zu untersuchende Flüssigkeit verschieden. Dass die Schwingungen der Gabeln und der Moleküle isoperiodisch sind, hat Matthiessen in der schon mehrfach zitierten Abhandlung bewiesen, es ist also nicht nötig diese Frage nochmals zu beleuchten. Es verdient hier schon erwähnt zu werden, dass zum Erlangen brauchbarer Resultate sämtliche benutzten Apparate absolut frei von Staub zu halten sind. Aus diesem Grunde, war auch der verwendete Filzhammer äusserlich noch mit einem Säckchen von feinem Leder umgeben, sodass durch die beim Anschlagen abfallenden Filzfasern eine Verunreinigung der Oberfläche nicht eintreten konnte. Um die entstehenden Knotenlinien möglichst sichtbar zu machen, wurde nach mehrfachen Versuchen als am Zweckmässigsten das Arbeiten mit gewöhnlicher diffuser, nicht

zu greller, Tagesbeleuchtung gefunden. Obwohl mehrfach eine Beleuchtung mittelst einer Glühlampe versucht wurde, so zeigte sich doch immer das Tageslicht als am geeignetsten. Überraschend schön sichtbar wurde das Wellenbild, wenn man, wie es bei diesen ganzen Versuchen geschehen ist, auf den Boden des weissen Porzellangefässes eine schwarze Glasplatte legte und das Auge so stellte, dass die Platte den Untergrund für das Wellenbild bildete. Mittelst eines Schirmes von Pausleinewand konnte dann noch etwa zu grelles Licht entsprechend abgeblendet werden. Die Anwendung einer derartigen Glasplatte dürfte von grosser Wichtigkeit sein, da der Unterschied in der Sichtbarkeit eines Wellenbildes mit oder ohne Glasplatte, ein sehr bedeutender ist. Undurchsichtige Flüssigkeiten bei denen die Glasplatte natürlich fortfällt, wirken schon von selbst mehr oder weniger spiegelnd, sodass hier ohne weiteres das Wellenbild mehr hervortritt als bei durchsichtigen Flüssigkeiten. Für das Messen der Abstände der Wellen wurde an dem schon erwähnten Holzgestell folgende Vorrichtung angebracht. (Fig. 1 der Tafel.) An der vorderen Seite des Fusses des Holzgestelles waren zwei kleine Holzsäulen a und b angeschraubt, in deren oberer Durchbohrung mittelst der Knöpfe c und d die Stangen e und f verschiebbar und drehbar angebracht waren. Diese hatten am Ende wieder Durchbohrungen, in denen sich das zum Messen verwendete Pachymeter drehen konnte. Durch Festziehen der in der Figur angedeuteten Schrauben konnte das ganze bewegliche System in ein starres verwandelt werden. Das im Grundriss dargestellte, von der Firma Schuchardt & Schütte, Berlin, bezogene und von der Firma Brown & Sharpe Mfg. Co., Birmingham, hergestellte Pachymeter, bestand aus einer Stahlschiene mit Millimeterteilung, auf welcher die beiden mit Spitzen versehenen Nonien mittelst Mikrometerschraube verschoben werden konnten. Die Innenfläche der Schnäbel des Pachymeters, welche in

Folge der Anordnung des Systems auf dem Flüssigkeitsspiegel senkrecht stehen, hatten genügende Ausdehnung um an ihnen bei Einstellung der Spitzen vorbeivisieren zu können, so dass hierdurch eine Parallaxe vollständig vermieden wurde. An den Enden der Schiene des Pachymeters waren runde Zapfen angebracht, welche in den Durchbohrungen der Stangen e und f lagerten und durch Schrauben festgestellt werden konnten.

Als Gefäss diente, da genügende Menge von Flüssigkeit vorhanden war, eine ovale Parzellanschüssel. Über die nötige Menge der Flüssigkeit wurden auch Versuche angestellt und es zeigte sich, dass man schon mit zirka 0,8 l bei nicht zu ungünstiger Form der Gefässe auskommt. Nach der aus den Versuchen gewonnenen Ansicht lässt sich diese Flüssigkeitsmenge bis auf 0,4 l erniedrigen, wenn man Gefässe von günstigster Form wählt. Als ein solches würde dasjenige gelten können, dessen Umriss, wie in Textfigur 2 dargestellt, aus zwei Kreisen besteht, deren Mittelpunkte $M$ und $M_1$ die Nadeln der Stimmgabel bilden und der übrige Umriss durch die beiden Tangenten an diese gleich grossen Kreise gebildet wird. Dieses Gefäss müsste nun noch bei möglichst grosser Oberfläche die nötige Tiefe besitzen.

Fig. 2.




Es ist dies für Wellen, welche mit Stimmgabeln bis 64,7 Schwingungen erregt werden, sicher der Fall, wenn die Tiefe 40 mm beträgt. Da die Wellen sich von den Nadelspitzen nach den Rändern zu

verflachen, so ist auch entsprechend dieser Verflachung die Reibung am Boden des Gefässes geringer und kann daher die Tiefe des Gefässes nach den Rändern hin entsprechend abnehmen. Man berücksichtigt dies am Besten in der Weise, dass man die Bodenecken mit einem von einem Punkte aus, in welchem die Nadelspitzen die Oberfläche der Flüssigkeit berühren, geschlagenen Radius $M$ a oder $M_1$ b abrundet und dafür bei gegebener kleinster Flüssigkeitsmenge die Oberfläche grösser wählt.

Für die Versuche sind von den früheren Bearbeitern einige Regeln aufgestellt worden, die hier in der Weise, wie sie Ochsé gegeben hat,[1] der Besprechung halber noch einmal Platz finden mögen.

1) Die Spitzen an der Stimmgabel und am Pachymeter müssen genau in einer Ebene stehen. (Der hyperbolischen Form der Knotenlinien wegen.)

2) Die Pachymeterspitzeu müssen genau gleichen, möglichst geringen Abstand von der Flüssigkeitsoberfläche haben, da sonst Fehler infolge der Parallaxe eintreten.

3) Da in der Nähe der Stimmgabelspitzen die Flüssigkeit in der Richtung der Bewegung fortgeschoben wird, erscheinen die ersten Wellen vergrössert; sie dürfen nicht mitgemessen werden.

4) Es empfiehlt sich, die Spitzen so wenig als möglich in die Flüssigkeit einzutauchen. Je geringer die Berührung beider ist, um so schmaler erscheinen die Knotenlinien und desto sicherer ist die Einstellung der Pachymeterspitzen.

Die bei dieser Arbeit gemachten Erfahrungen bestätigen diese Sätze, und kann nur auf Grund derselben zu dem vierten Satze folgendes hinzugefügt werden: Wenn sich auch ein möglichst geringes Eintauchen empfiehlt, so ist dasselbe jedoch nicht für die verschiedenen Flüssigkeiten und Konzentrationen als konstant

[1] Exner's Repertorium Bd. XXVI 1890, S. 646.

anzunehmen, denn es zeigt sich, dass bei einer schwerer beweglichen Flüssigkeit, oder bei einer höheren Konzentration die schwach erscheinenden Knotenlinien durch geringes Tiefereintauchen der Spitzen sichtbarer und schärfer gemacht werden können.

Die Messung der Knotenlinienabstände wurde nun in folgender Weise durchgeführt. Die linke Pachymeterspitze wurde mit Berücksichtigung des nach 3) nötigen Abstandes auf eine Knotenlinie eingestellt und nun mittelst der Mikrometerschraube die rechte Pachymeterspitze auf die 4., 5., 6. u. s. w. Knotenlinie eingestellt und die Abstände notiert. Dann wurde in derselben Weise die rechte Pachymeterspitze fest eingestellt und nun die linke auf die korrespondierenden Knotenlinien eingestellt. Nach je drei Ablesungen wurde die Oberflächenhaut durch Umrühren mittelst eines Glasstabes erneuert, da die unvermeidliche Verunreinigung der Oberfläche durch die Luft ein Sinken der Oberflächenspannung herbeiführt. Die Flüssigkeiten wurden nach der Herstellung zur Entfernung der beim Schütteln aufgenommenen Luft eine halbe Stunde stehen gelassen, im Übrigen aber auf die noch eingeschlossene Luft keine Rücksicht genommen. Da die Ausführung der Versuche zur Hauptsache in den Sommer fiel, wurde als Anfangstemperatur 20 ° Celsius gewählt. Die höheren Temperaturen wurden durch direktes Erwärmen auf eine etwas höhere Temperatur hergestellt und dann bei dem Durchgang durch die gewünschte Temperatur mit einer Differenz von $\pm$ 0,3 ° Celsius beobachtet. Das seitlich in die Wanne eintauchende Thermometer gestattete 0,2 ° Celsius abzulesen, so dass 0,1 Celsius noch geschätzt werden konnten. Die alkoholischen Flüssigkeiten wurden der Verdunstung des Alkohols wegen nicht bei höherer Temperatur untersucht. Betreffs der Verdunstung des Alkohols bei 20 ° Celsius stellte ich durch Wägung fest, dass der Alkoholverlust in dem benutzten Gefäss in einer

halben Stunde 0,5 % betrug. Da dieser sich bei Gemischen noch bedeutend verringert, so liess ich diesen unberücksichtigt und erneuerte nur spätestens in einer halben Stunde die Lösung. Bezüglich der Genauigkeit bemerke ich noch, dass das Pachymeter 0,1 mm abzulesen und 0,05 mm zu schätzen gestattete. Untersucht wurden die Lösungen aus später zu erörternden Gründen mit drei Stimmgabeln von verschiedener Schwingungszahl und zwar $n = 64{,}7$; $n = 128$; $n = 229$. Die Dimensionen der Stimmgabeln gehen aus der beigefügten Zeichnung hervor.

Es sind nun noch die Versuche mit Abreissplatten zu besprechen. Die sämtlichen hier angeführten Versuche sind mit einer genau planparalelen kreisrund geschliffenen Spiegelglasplatte von 81,7 mm ○ = 5242,4 qmm Oberfläche durchgeführt. Dieselbe konnte mittelst dreier verstellbarer Fäden, welche an einem Haken zusammenliefen, mittelst dieses Hakens an dem Arm einer sehr empfindlichen chemischen Wage aufgehangen werden. Vor dem Anstellen der Versuche wurde die Platte einer sorgfältigen Reinigung unterzogen, indem dieselbe erst mit Wasser dann mit 50 % Schwefelsäure und wieder Wasser und zuletzt mit der zu untersuchenden Flüssigkeit abgewaschen wurde. Diese Reinigung ist von der grössten Wichtigkeit und muss dieselbe mit aller Sorgfalt durchgeführt werden, da die geringsten Verunreinigungen die Versuche stark beeinträchtigen können.

Zur vorläufigen Horizontalstellung der an den Wagearm gehängten Platte befand sich auf derselben eine kleine Dosenlibelle. Es wurde nun das Gewicht der Platte nebst Libelle durch Auflegen von Gewichten auf die andere Wagschale ausgeglichen, hierauf bei arretierter Wage ein flaches cylindrisches Glasgefäss von 125 mm ○ und 25 mm Höhe im Lichten so unter der Abreissplatte aufgestellt, dass dieselbe wenig in das Gefäss hineinragte, und nun die zu untersuchende Flüssigkeit vorsichtig bis

zum Benetzen der Platte eingefüllt. Nun konnte man mit einer Genauigkeit von 0,1 g das zum Abreissen von der Flüssigkeit nötige Gewicht ermitteln. Dieses die Platte zum Abreissen bringende Gewicht gestattet nun eine sehr genaue Horizontalstellung der Platte, in dem immer die Platte an der Seite, wo dieselbe zu hoch liegt, zuerst abreisst. Durch Verstellen der Fäden gelingt es nun, die Flüssigkeit auf allen Seiten gleichmässig zum Zurückweichen zu bringen und konnte man nun zur Ermittelung des Abreissgewichtes mit einer Genauigkeit bis auf 0,01 g schreiten. Zu diesem Zwecke wurde das vorläufig ermittelte Gewicht wieder um 0,2 g erniedrigt, die Platte wieder an den Flüssigkeitsspiegel geheftet und nun mittelst Auflegen von einzelnen 0,01 g Gewichtsstücken die Platte zum Abreissen gebracht. Da man beim Auflegen der Gewichte die Wagschale nicht berühren darf, so muss man natürlich dieselben aus möglichst geringer Höhe auf die Wagschale fallen lassen, damit ihre lebendige Kraft möglichst wenig zum Abreissen mit beiträgt. Es empfiehlt sich bei den Abreissversuchen die Arretation der Wage so weit hoch zu stellen, dass die Wagebalkenunterstützung sich dem mit den Gewichten belasteten Wagearm auf zirka 0,5 mm nähert. Es zeigt sich dann das Abreissen der Platte an einem allgemeinen Zurückweichen der Flüssigkeit und, da der herabfallende Wagearm bald einen Ruhepunkt findet, so findet kein erhebliches Schwanken des Flüssigkeitsspiegels und auch kein Benetzen der Platte über die eingetauchten Stellen hinaus statt, sodass man ohne weiteres mit einem neuen Versuch mit derselben Flüssigkeit beginnen kann. Diese Abreissversuche erfordern eine bedeutende Zeit und stellen an die Geduld des Experimentirenden hohe Anforderungen. Betreffs der bei der Ausrechnung zur Anwendung kommenden Poisson'schen Formel glaube ich schon das Nötige im Abschnitt II erwähnt zu haben.

## IV. Versuchsresultate.

Zur Untersuchung gelangten vier Flüssigkeiten:

a) Glycerin in Wasser,
b) Kaliseife in Wasser,
c) Glycerin in Alkohol,
d) Terpentin in Alkohol.

Die ganzen Prozentzahlen dieser Arbeit beziehen sich auf Volumprozente in 100.

ad a) Das verwendete Glycerin war als chemisch rein und wasserfrei aus der hiesigen Drogerie von Brunnengräber bezogen worden. Das spezifische Gewicht desselben ergab sich nach Messung mittelst eines Pyknometers zu 1,26. Das destillierte Wasser war ebenfalls als absolut rein von Brunnengräber bezogen worden. Es kamen Mischungen von Glycerin in Wasser bis 40 % in den Intervallen von 5 zu 5 % zur Untersuchung. Es wurde die Oberflächenspannung bei obigen Konzentrationen mit allen drei Stimmgabeln untersucht. Die Temperaturuntersuchungen wurden nur mit einer Stimmgabel durchgeführt (n = 128). Über 40 % hinaus konnte nicht mehr untersucht werden, weil die Wellen wohl noch sichtbar waren, aber sich derart verflacht hatten, dass ein genaues Einstellen auf die Knotenlinien nicht mehr möglich war. Die Temperaturuntersuchungen beziehen sich auf 20, 30, 40, 50 und 60 ° Celsius. Über 60 ° hinaus stellten die aufsteigenden Dämpfe der Untersuchung zu viele Schwierigkeiten entgegen, um genaue Resultate erzielen zu können. Die Abreissversuche kamen bis 100 % in den Intervallen von 10 zu 10 % zur Ausführung. Im Übrigen dürfte die nachfolgende Tabelle allen Aufschluss geben. Es bedeutet darin s das spezifische Gewicht (mittelst Pyknometers ermittelt), $T$ die Oberflächenspannung, wie sie aus den Versuchen ermittelt wurde, $T_1$ die für die Konzentrationsuntersuchungen aus einer auf Grund der

Methode der kleinsten Quadrate aufgestellten Gleichung von der Form

$$T_1 = a + b\alpha + c\alpha^2$$

gerechneten Werte der Oberflächenspannung resp. für die Temperatur-Untersuchungen von der Form

$$T_1 = a + bt$$

$\triangle$ die Differenz zwischen den beobachteten und berechneten Werten. Die übrigen Benennungen sind aus dem Vorhergehenden bekannt.

ad b) Die zu den Versuchen verwendete, von E. Merck in Darmstadt bezogene Sapo kalinus konnte wasserfrei nicht erhalten werden. Eine direkte Wasserbestimmung führte zu keinem Resultat, da selbst nach 24stündigem Trocknen eine Gewichtskonstanz nicht zu erzielen war. Es wurde deshalb eine Titration des bei der Veraschung enthaltenen Alkalis vorgenommen. Nach dieser enthielt die Seife als Kaliumoleat aufgefasst 21,25 % Wasser, welches bei dieser Untersuchung in Rechnung gezogen wurde. Destilliertes Wasser war wieder von Brunnengräber bezogen. Die Untersuchungen konnten wegen der Sichtbarkeit der Wellen nur bis 20 % in den Intervallen von 5 zu 5 % ausgeführt werden. Zwischen 0 und 5 % ist wegen des starken Abfallens der Kurve noch ein Mittelwert von 2½ % eingeschaltet. Auch konnten die Untersuchungen nur für höhere Temperaturen, und zwar für 40, 50 und 60 ° Cels., stattfinden, da sich unter 40 ° schon die Lösung in Folge Ausscheidung von fester Seife trübte. Es wurden nur zwei Stimmgabeln: $n = 64{,}7$ und $n = 128$ verwendet, da die von der Stimmgabel $n = 229$ erregten Wellen sich wegen ihrer Undeutlichkeit nicht zum Messen eigneten. Abreissversuche wurden keine gemacht, da sich die Abreissmethode aus später zu erörternden Gründen nicht für Temperatur-Untersuchungen eignet.

ad c) Zu den alkoholischen Lösungen wurde das schon früher angewendete Glycerin verwendet. Der

Alkohol, aus der hiesigen Droguerie von Brunnengräber bezogen, war 99,5 % und hatte nach Pyknometermessung ein spezifisches Gewicht von 0,793. Es kamen Lösungen von Glycerin in Alkohol bis 35 % in den Intervallen von 5 zu 5 % nach der Stimmgabel und Abreissmethode zur Untersuchung. Über 35 % hinaus konnte wegen der Undeutlichkeit des Wellenbildes nicht mehr untersucht werden. Die Stimmgabel mit 229 Schwingungen konnte schon von 20 % an aus demselben Grunde nicht mehr verwendet werden. Der Berechnung der Formel nach der Form

$$T_1 = a + b\alpha + c\alpha^2$$

sowie der Mittelwerte sind nur die Resultate der Stimmgabeln mit 64,7 und 128 Schwingungen zu Grunde gelegt.

ad d) Das wiederum von Brunnengräber bezogene Terpentin hatte nach Pyknometermessung ein spezifisches Gewicht von 0,862. Alkohol hatte wieder die vorhin erwähnten Eigenschaften. Es kamen Lösungen bis 100 % in den Intervallen von 10 zu 10 % nach der Stimmgabelmethode mit allen drei Stimmgabeln sowie nach der Abreissmethode zur Untersuchung. Im Übrigen dürften die jetzt folgenden Tabellen alle vier Lösungen genügend erläutern. Die in allen vier Tabellen enthaltenen Beobachtungswerte mittelst der Stimmgabelmethode sind Mittelwerte aus 40 Beobachtungen. Die Tabellen enthalten noch eine Anmerkung, welche auf die in der beigegebenen Tafel wiedergegebene graphische Darstellung der Versuchsresultate hinweist.

## Stimmgabel-Versuche mit Glycerin in Wasser

$T = f(\alpha)$

| | | n = 64,7 | | | n = 128 | | | n = 229 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Vol. % $\alpha$ in 100 | spez. G. s | t = 20 ° Cels. $\lambda$ cm | $T$ | $\triangle$ | t = 20 ° Cels. $\lambda$ cm | $T$ | $\triangle$ | t = 20 ° Cels. $\lambda$ cm | $T$ | $\triangle$ | Mittelw. $T$ d. drei St. | $T_1$ a. d. Form. ber. |
| dest. Wasser | 1,000 | 0,4840 | 0,0710 | + 0,0005 | 0,3025 | 0,0712 | + 0,0003 | 0,2043 | 0,0715 | ± 0 | 0,0712 | 0,0715 |
| 5 | | 0,4768 | 0,0678 | — 0,0010 | 0,2953 | 0,0662 | + 0,0006 | 0,2015 | 0,0686 | — 0,0018 | 0,0675 | 0,0668 |
| 10 | 1,025 | 0,4653 | 0,0629 | ± 0 | 0,2884 | 0,0616 | + 0,0013 | 0,1978 | 0,0648 | — 0,0019 | 0,0631 | 0,0629 |
| 15 | | 0,4561 | 0,0591 | + 0,0007 | 0,2835 | 0,0585 | + 0,0013 | 0,1936 | 0,0608 | — 0,0010 | 0,0595 | 0,0598 |
| 20 | 1,049 | 0,4475 | 0,0558 | + 0,0016 | 0,2813 | 0,0571 | + 0,0003 | 0,1913 | 0,0586 | — 0,0012 | 0,0572 | 0,0574 |
| 25 | | 0,4478 | 0,0559 | ± 0 | 0,2795 | 0,0560 | — 0,0002 | 0,1900 | 0,0574 | — 0,0016 | 0,0564 | 0,0558 |
| 30 | 1,076 | 0,4439 | 0,0544 | + 0,0005 | 0,2765 | 0,0542 | + 0,0005 | 0,1882 | 0,0558 | — 0,0009 | 0,0548 | 0,0549 |
| 35 | | 0,4418 | 0,0536 | + 0,0012 | 0,2778 | 0,0550 | — 0,0002 | 0,1884 | 0,0560 | — 0,0012 | 0,0549 | 0,0548 |
| 40 | 1,127 | 0,4453 | 0,0549 | + 0,0005 | 0,2785 | 0,0554 | ± 0 | 0,1921 | 0,0594 | — 0,0040 | 0,0565 | 0,0554 |

Die % Zahlen obiger Tabelle geben Volumteile Glycerin in 100 Teilen Wasser an.

$T_1$ nach der Formel $T_1 = 0{,}0715 - 0{,}00101\,\alpha + 0{,}0000152\,\alpha^2$.

Graphische Darst. in Fig. 3.

## Stimmgabel-Versuche mit Glycerin in Wasser

$T = f(t)$

für n = 128.

| Vol. % $\alpha$ in 100 | t = 20 ° | | | | t = 30 ° | | | | t = 40 ° | | | | t = 50 ° | | | | t = 60 ° | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\lambda$ cm | $T$ | $T_1$ | $\triangle$ | $\lambda$ cm | $T$ | $T_1$ | $\triangle$ | $\lambda$ cm | $T$ | $T_1$ | $\triangle$ | $\lambda$ cm | $T$ | $T_1$ | $\triangle$ | $\lambda$ cm | $T$ | $T_1$ | $\triangle$ |
| dest. Wasser | 0,3025 | 0,0712 | 0,0697 | −0,0015 | 0,2935 | 0,0645 | 0,0658 | −0,0013 | 0,2863 | 0,0603 | 0,0620 | +0,0017 | 0,2824 | 0,0578 | 0,0581 | +0,0003 | 0,2785 | 0,0554 | 0,0542 | −0,0012 |
| 5 | 0,2953 | 0,0662 | 0,0655 | −0,0007 | 0,2878 | 0,0612 | 0,0620 | +0,0008 | 0,2832 | 0,0583 | 0,0586 | +0,0003 | 0,2776 | 0,0549 | 0,0551 | +0,0002 | 0,2730 | 0,0522 | 0,0517 | −0,0005 |
| 10 | 0,2884 | 0,0616 | 0,0628 | +0,0012 | 0,2881 | 0,0612 | 0,0601 | −0,0011 | 0,2829 | 0,0581 | 0,0574 | −0,0007 | 0,2763 | 0,0541 | 0,0547 | +0,0006 | 0,2724 | 0,0518 | 0,0520 | +0,0002 |
| 15 | 0,2835 | 0,0585 | 0,0578 | −0,0007 | 0,2769 | 0,0545 | 0,0551 | +0,0006 | 0,2725 | 0,0519 | 0,0523 | +0,0004 | 0,2684 | 0,0496 | 0,0496 | ± 0 | 0,2641 | 0,0472 | 0,0468 | −0,0004 |
| 20 | 0,2813 | 0,0571 | 0,0569 | −0,0002 | 0,2757 | 0,0538 | 0,0540 | +0,0002 | 0,2701 | 0,0505 | 0,0510 | +0,0005 | 0,2669 | 0,0487 | 0,0481 | −0,0006 | 0,2598 | 0,0449 | 0,0451 | +0,0002 |
| 25 | 0,2795 | 0,0560 | 0,0553 | −0,0007 | 0,2737 | 0,0526 | 0,0535 | +0,0009 | 0,2725 | 0,0519 | 0,0517 | −0,0002 | 0,2691 | 0,0499 | 0,0500 | +0,0001 | 0,2663 | 0,0484 | 0,0482 | −0,0002 |
| 30 | 0,2765 | 0,0542 | 0,0542 | ± 0 | 0,2714 | 0,0513 | 0,0527 | +0,0014 | 0,2703 | 0,0506 | 0,0512 | +0,0006 | 0,2677 | 0,0492 | 0,0497 | +0,0005 | 0,2632 | 0,0467 | 0,0482 | +0,0015 |
| 35 | 0,2780 | 0,0550 | 0,0544 | −0,0006 | 0,2725 | 0,0519 | 0,0520 | +0,0001 | 0,2660 | 0,0482 | 0,0496 | +0,0014 | 0,2651 | 0,0477 | 0,0472 | −0,0005 | 0,2603 | 0,0451 | 0,0448 | −0,0003 |
| 40 | 0,2785 | 0,0554 | 0,0564 | +0,0010 | 0,2744 | 0,0530 | 0,0531 | +0,0001 | 0,2702 | 0,0506 | 0,0507 | +0,0001 | 0,2669 | 0,0487 | 0,0484 | +0,0003 | 0,2616 | 0,0458 | 0,0460 | +0,0002 |

Die in der Tabelle angegebenen % Zahlen bedeuten Volumteile Glyc. in 100 Teilen Wasser.
Graphische Darst. in Fig. 4.

Die Werte $T_1$ sind berechnet:

für 0 % $T_1 = 0{,}07746 - 0{,}0003877\ t$
„ 5 „ $T_1 = 0{,}07234 - 0{,}0003443\ t$
„ 10 „ $T_1 = 0{,}06819 - 0{,}0002692\ t$
„ 15 „ $T_1 = 0{,}06334 - 0{,}0002756\ t$
„ 20 „ $T_1 = 0{,}06283 - 0{,}0002957\ t$
für 25 % $T_1 = 0{,}05877 - 0{,}0001756\ t$
„ 30 „ $T_1 = 0{,}05726 - 0{,}0001517\ t$
„ 35 „ $T_1 = 0{,}05916 - 0{,}0002391\ t$
„ 40 „ $T_1 = 0{,}06010 - 0{,}0002348\ t$

## Abreiss-Versuche mit Glycerin in Wasser

$T = f(\alpha)$.

Temperatur t = 20 ° Cels.

Platten-Oberfläche = 52,424 qcm.

Diam. = 8,17 cm.

| Vol. % $\alpha$ in 100 | spez. G. s | Belast. p | $\frac{p}{s}$ | $\alpha^2$ | $T$ |
|---|---|---|---|---|---|
| dest. Wasser | 1,000 | 27,696 | 27,696 | 0,1460 | 0,0730 |
| 10 | 1,025 | 26,154 | 25,516 | 0,1234 | 0,0617 |
| 20 | 1,049 | 25,221 | 24,043 | 0,1093 | 0,0546 |
| 30 | 1,076 | 25,508 | 23,706 | 0,1062 | 0,0531 |
| 40 | 1,102 | 26,293 | 23,859 | 0,1076 | 0,0538 |
| 50 | 1,127 | 26,751 | 23,738 | 0,1065 | 0,0532 |
| 60 | 1,157 | 27,693 | 23,934 | 0,1083 | 0,0541 |
| 70 | 1,183 | 28,847 | 24,385 | 0,1125 | 0,0562 |
| 80 | 1,209 | 29,662 | 24,534 | 0,1139 | 0,0564 |
| 90 | 1,236 | 30,942 | 25,034 | 0,1187 | 0,0593 |
| Glycerin | 1,260 | 32,454 | 25,756 | 0,1258 | 0,0629 |

Die % Zahlen geben Volumteile Glycerin in 100 Teilen Wasser an.

Graphische Darst. in Fig. 3.

## Stimmgabel-Versuche mit Kali-Seife und Wasser

$T = f(\alpha)$

n = 64,7

| Vol. % $\alpha$ in 100 | t = 40 ° | | t = 50 ° | | t = 60 ° | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\lambda$ cm | $T$ | $\lambda$ cm | $T$ | $\lambda$ cm | $T$ |
| dest. Wasser | 0,4593 | 0,0604 | 0,4523 | 0,0576 | 0,4481 | 0,0560 |
| 2,5 | 0,4015 | 0,0399 | 0,3948 | 0,0378 | 0,3762 | 0,0326 |
| 5 | 0,3698 | 0,0309 | 0,3577 | 0,0278 | 0,3523 | 0,0265 |
| 10 | 0,3601 | 0,0284 | 0,3521 | 0,0265 | 0,3423 | 0,0243 |
| 15 | 0,3588 | 0,0281 | 0,3473 | 0,0254 | 0,3324 | 0,0221 |
| 20 | 0,3526 | 0,0266 | 0,3458 | 0,0250 | 0,3216 | 0,0200 |

n = 128

| Vol. % $\alpha$ in 100 | t = 40 ° | | t = 50 ° | | t = 60 ° | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\lambda$ cm | $T$ | $\lambda$ cm | $T$ | $\lambda$ cm | $T$ |
| dest. Wasser | 0,2863 | 0,0603 | 0,2842 | 0,0578 | 0,2785 | 0,0554 |
| 2,5 | 0,2479 | 0,0389 | 0,2442 | 0,0372 | 0,2331 | 0,0323 |
| 5 | 0,2324 | 0,0320 | 0,2204 | 0,0272 | 0,2172 | 0,0260 |
| 10 | 0,2246 | 0,0288 | 0,2173 | 0,0261 | 0,2098 | 0,0234 |
| 15 | 0,2212 | 0,0275 | 0,2125 | 0,0244 | 0,2028 | 0,0211 |
| 20 | 0,2164 | 0,0257 | 0,2102 | 0,0236 | 0,1993 | 0,0200 |

Mittelwerte aus n = 64,7 und n = 128

| Vol. % $\alpha$ in 100 | t = 40 ° | t = 50 ° | t = 60 ° |
|---|---|---|---|
| | $T$ | $T$ | $T$ |
| dest. Wasser | 0,0604 | 0,0577 | 0,0557 |
| 2,5 | 0,0394 | 0,0375 | 0,0324 |
| 5 | 0,0314 | 0,0275 | 0,0263 |
| 10 | 0,0286 | 0,0263 | 0,0238 |
| 15 | 0,0278 | 0,0249 | 0,0216 |
| 20 | 0,0262 | 0,0243 | 0,0200 |

Die angegebenen % Zahlen geben Volumteile Kali-Seife in 100 T. Wasser an.
Graphische Darst. in Fig. 5.

## Stimmgabel-Versuche mit Glycerin in Alkohol.

$T = f(\alpha)$

| Vol. % $\alpha$ in 100 | spez. G. s | n = 64,7 t = 20 ° Cels. $\lambda$ cm | $T$ | $\Delta$ | n = 128 t = 20 ° Cels. $\lambda$ cm | $T$ | $\Delta$ | n = 229 t = 20 ° Cels. $\lambda$ cm | $T$ | $\Delta$ | Mittelw. $T$ von n = 64,7 u. 128 | $T_1$ nach d. F. ber. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| abs. Alkohol | 0,793 | 0,3771 | 0,0328 | − 0,0006 | 0,2330 | 0,0322 | ± 0 | 0,1553 | 0,0312 | + 0,0010 | 0,0325 | 0,0322 |
| 5 | 0,824 | 0,3680 | 0,0304 | + 0,0007 | 0,2296 | 0,0308 | + 0,0003 | 0,1549 | 0,0310 | + 0,0001 | 0,0306 | 0,0311 |
| 10 | 0,850 | 0,3651 | 0,0297 | + 0,0004 | 0,2271 | 0,0298 | + 0,0003 | 0,1544 | 0,0304 | − 0,0003 | 0,0297 | 0,0301 |
| 15 | 0,871 | 0,3627 | 0,0291 | + 0,0001 | 0,2263 | 0,0295 | − 0,0003 | 0,1518 | 0,0292 | ± 0 | 0,0293 | 0,0292 |
| 20 | 0,899 | 0,3603 | 0,0285 | ± 0 | 0,2249 | 0,0289 | − 0,0004 | 0,1498 | 0,0280 | + 0,0005 | 0,0287 | 0,0285 |
| 25 | 0,924 | 0,3568 | 0,0276 | + 0,0002 | 0,2202 | 0,0271 | + 0,0007 | | | | 0,0274 | 0,0278 |
| 30 | 0,948 | 0,3542 | 0,0270 | + 0,0003 | 0,2200 | 0,0270 | + 0,0003 | | | | 0,0270 | 0,0273 |
| 35 | 0,974 | 0,3515 | 0,0264 | + 0,0004 | 0,2178 | 0,0263 | + 0,0005 | | | | 0,0263 | 0,0268 |

Die % Zahlen obiger Tabelle geben Volumteile Glycerin in 100 Teilen Alkohol an.

$T_1$ nach der Formel $T_1 = 0{,}03220 - 0{,}0002301\,\alpha + 0{,}00000215\,\alpha^2$.

Graphische Darstellung in Fig. 6.

## Abreiss-Versuche mit Glycerin in Alkohol.

$T = f(\alpha)$.

Temperatur t = 20 ° Cels.

Flatten-Oberfläche = 52,424 qcm.

Diam. = 8,17 cm.

| Vol. % $\alpha$ in 100 | spez. G. s | Belast. p | $\frac{p}{s}$ | $\alpha^2$ | $T$ |
|---|---|---|---|---|---|
| abs. Alkohol | 0,793 | 14,174 | 17,874 | 0,05980 | 0,0299 |
| 5 | 0,824 | 14,498 | 17,596 | 0,05803 | 0,0290 |
| 10 | 0,850 | 14,783 | 17,394 | 0,05658 | 0,0283 |
| 15 | 0,871 | 15,135 | 17,378 | 0,05650 | 0,0282 |
| 20 | 0,899 | 15,512 | 17,247 | 0,05568 | 0,0278 |
| 25 | 0,924 | 15,876 | 17,181 | 0,05523 | 0,0276 |
| 30 | 0,948 | 16,217 | 17,105 | 0,05466 | 0,0273 |
| 35 | 0,974 | 16,570 | 17,039 | 0,05433 | 0,0271 |

Die % Zahlen geben Volumteile Glycerin in 100 Teilen Alkohol an.

Graphische Darst. in Fig. 6.

## Stimmgabel-Versuche mit Terpentin in Alkohol.

$T = f(\alpha)$.

| Vol. % $\alpha$ in 100 | spez. G. s | n = 64,7 t = 20 ° Cels. $\lambda$ cm | $T$ | $\Delta$ | n = 128 t = 20 ° Cels. $\lambda$ cm | $T$ | $\Delta$ | n = 229 t = 20 ° Cels. $\lambda$ cm | $T$ | $\Delta$ | Mittelw. $T$ | $T_1$ nach d. F. ber. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Alkohol | 0,793 | 0,3816 | 0,0340 | − 0,0002 | 0,2380 | 0,0344 | − 0,0004 | 0,1597 | 0,0340 | − 0,0002 | 0,0341 | 0,0338 |
| 10 | 0,799 | 0,3749 | 0,0322 | + 0,0004 | 0,2328 | 0,0322 | + 0,0004 | 0,1576 | 0,0327 | − 0,0001 | 0,0324 | 0,0326 |
| 20 | 0,806 | 0,3714 | 0,0313 | + 0,0005 | 0,2292 | 0,0307 | + 0,0011 | 0,1563 | 0,0319 | − 0,0001 | 0,0313 | 0,0318 |
| 30 | 0,811 | 0,3721 | 0,0315 | − 0,0003 | 0,2303 | 0,0311 | + 0,0001 | 0,1551 | 0,0311 | + 0,0001 | 0,0312 | 0,0312 |
| 40 | 0,815 | 0,3691 | 0,0307 | + 0,0003 | 0,2295 | 0,0308 | + 0,0002 | 0,1545 | 0,0308 | + 0,0002 | 0,0308 | 0,0310 |
| 50 | 0,824 | 0,3707 | 0,0311 | ± 0 | 0,2305 | 0,0312 | − 0,0001 | 0,1555 | 0,0314 | − 0,0003 | 0,0312 | 0,0311 |
| 60 | 0,832 | 0,3725 | 0,0316 | − 0,0001 | 0,2314 | 0,0316 | − 0,0001 | 0,1567 | 0,0321 | − 0,0006 | 0,0318 | 0,0315 |
| 70 | 0,839 | 0,3761 | 0,0325 | − 0,0002 | 0,2309 | 0,0314 | + 0,0009 | 0,1576 | 0,0327 | − 0,0004 | 0,0322 | 0,0323 |
| 80 | 0,842 | 0,3768 | 0,0327 | + 0,0005 | 0,2328 | 0,0322 | + 0,0011 | 0,1582 | 0,0330 | + 0,0003 | 0,0326 | 0,0333 |
| 90 | 0,853 | 0,3803 | 0,0337 | + 0,0010 | 0,2367 | 0,0338 | + 0,0009 | 0,1613 | 0,0350 | − 0,0003 | 0,0342 | 0,0347 |
| Terpentin | 0,862 | 0,3889 | 0,0361 | + 0,0003 | 0,2428 | 0,0365 | − 0,0001 | 0,1638 | 0,0367 | − 0,0003 | 0,0364 | 0,0364 |

Die % Zahlen obiger Tabelle geben Volumteile Terpentin in 100 Teilen Alkohol an.

$T_1$ nach der Formel $T_1 = 0{,}03381 - 0{,}0001345\,\alpha + 0{,}000001604\,\alpha^2$.

Graphische Darst. in Fig. 7.

## Abreiss-Versuche mit Terpentin in Alkohol.

$T = f(\alpha)$.

Temperatur t = 20 ° Cels.

Platten-Oberfläche = 52,424 cm.

Diam. = 8,17 cm.

| Vol. % $\alpha$ in 100 | spez. G. s | Belast. p | $\frac{p}{s}$ | $\alpha^2$ | $T$ |
|---|---|---|---|---|---|
| abs. Alkohol | 0,793 | 14,174 | 17,874 | 0,0598 | 0,0299 |
| 10 | 0,799 | 14,314 | 17,915 | 0,0601 | 0,0300 |
| 20 | 0,806 | 14,475 | 17,959 | 0,0604 | 0,0302 |
| 30 | 0,811 | 14,660 | 18,077 | 0,0612 | 0,0306 |
| 40 | 0,815 | 14,797 | 18,156 | 0,0617 | 0,0309 |
| 50 | 0,824 | 15,042 | 18,255 | 0,0624 | 0,0312 |
| 60 | 0,832 | 15,216 | 18,289 | 0,0627 | 0,0313 |
| 70 | 0,839 | 15,424 | 18,385 | 0,0633 | 0,0317 |
| 80 | 0,842 | 15,567 | 18,489 | 0,0641 | 0,0320 |
| 90 | 0,853 | 15,865 | 18,600 | 0,0648 | 0,0324 |
| Terpentin | 0,862 | 16,142 | 18,726 | 0,0657 | 0,0329 |

Die % Zahlen geben Volumteile Terpentin in Alkohol an.

Graphische Darst. in Fig. 7.

## V. Besprechung der Versuchsresultate.

Wendet man sich nun zur Betrachtung der Versuchsresultate, so zeigt sich, dass in allen Lösungen durch Aufnahme des Lösungsmittels ein Sinken der Oberflächenspannung herbeigeführt wird. Wie das Verhalten der Lösung von Terpentin in Alkohol zeigt, scheint die Oberflächenspannung bis zu einem Minimum zu sinken, um dann wieder bis zur Oberflächenspannung des Lösungsmittels anzusteigen. Es ergiebt sich daraus, dass die Oberflächenspannung eines Gemisches von zwei Substanzen nicht notwendigerweise zwischen den Oberflächenspannungen der beiden Substanzen liegen muss, sondern bedeutend niedriger liegen kann. Dieser Satz ist auch schon von Traube[1] gefunden worden. Die von ihm mittelst Kapillarröhren gefundenen Resultate für Lösungen von Glycerin in Wasser und in Alkohol zeigen ebenso ein Sinken der Oberflächenspannung, wie sie hier gefunden wurden. Jedoch zeigen die dort veröffentlichten Resultate, dass es auch Lösungen von regelmässigem Verhalten giebt, deren Oberflächenspannung sich also auf einer Geraden zwischen den Oberflächenspannungen der beiden Mischsubstanzen bewegt. Für Salzlösungen hat Ochsé für das vorhin erwähnte Verhalten zwei Sätze aufgestellt und zwar:

1) Mit zunehmender Konzentration nimmt die Oberflächenspannung ab, und es ist im Allgemeinen bei geringerem Salzgehalt die Abnahme stärker als bei grossem Salzgehalte.

2) Die Oberflächenspannung der Lösung ist stets kleiner als die des Lösungsmittels.

Auf Grund der hier ausgeführten Untersuchungen können diese Sätze auch auf die hier untersuchten Lösungen von organischen Substanzen ausgedehnt werden, obwohl eine

[1] Journal für prakt. Chemie N. F. 31, 1885. S. 184.

Allgemeinheit diesen Sätzen, wie die Untersuchungen von Traube gezeigt haben, nicht zuerkannt werden darf. So findet Traube z. B. für wässerige Lösungen bis 20 % bei 15° Cels. von Glycerin, krystallisierter Citronensäure-Äthylenalkohol, Methylalkohol, Äthylalkohol, Isobutylalkohol eine Abnahme der Oberflächenspannung im Sinne der obigen Sätze, für Weinsäure jedoch liegt die Oberflächenspannung auf einer Parallelen zur Abscissenaxe, während sie für Natriumchlorid, Kaliumchlorid, Kaliumbromid und Kaliumjodid ansteigt. Die von mir bei verschiedenen Temperaturen untersuchten Lösungen von Glycerin in Wasser und Kaliseife in Wasser zeigen auch ein ähnliches Verhalten, wie die von Ochsé untersuchten Salzlösungen. Steigende Temperatur führt ein Sinken der Oberflächenspannung herbei, und zwar kann die Abnahme der Oberflächenspannung als lineare Funktion der Temperatur dargestellt werden. Auch findet mit steigender Temperatur eine Abnahme des Temperaturkoeffizienten statt. Es soll nun hier nochmals auf die Untersuchungsmethoden selbst zurückgegangen werden. Es dürfte wohl einleuchtend sein, dass die Bestimmung der Kohäsionskonstanten mittelst Stimmgabeln eine der einfachsten der bis jetzt überhaupt in Anwendung gekommenen Methoden ist. Jede der sonst gebräuchlichen Methoden bedarf zum Anstellen längerer Vorbereitung. Die sämtlichen Methoden erfordern eine mehr oder weniger umfangreiche Reinigung der Apparate, da die Richtigkeit der mit diesen Methoden erlangten Resultate wesentlich von der vollständigen Benetzung des Kapillarrohres oder der Fläche der Abreissplatte abhängt. Wenn man sich die Sorgfalt vergegenwärtigt, welche die mit Kapillarröhren arbeitenden Autoren auf die Reinigung der Röhren verwendet haben, dann muss man es als einen grossen Vorzug der Matthiessen-Thomson'schen Methode anerkennen, von Benetzungseinflüssen frei zu sein. Sobald sich auf einer Flüssigkeit nur ein Wellenbild erregen lässt, so

lässt sich mittelst einer Stimmgabel von bekannter Schwingungszahl sofort die Oberflächenspannung bestimmen. Allerdings lässt sich diese Methode schlecht für Temperaturen über 60 ° anwenden, da hier die aufsteigenden Dämpfe der genauen Messung hinderlich sind. Für die Anwendung der Abreissplatten war bestimmend, eine Methode zu haben, durch welche sich die mittelst der Matthiessen-Thomson'schen Methode gefundenen Resultate kontrolieren lassen. Wenn die beiden Methoden auch im Allgemeinen dieselben Gesetze ergeben haben, so zeigte sich doch, dass die Methode der Abreissplatten viel weniger zu empfehlen ist. Die Platten erforderten zur Erzielung einer gleichmässigen Benetzung eine umfangreiche Reinigung, wie solche im Abschnitt III beschrieben wurde. Diese Reinigung ist von grosser Bedeutung, da sich in der Belastung einer ungereinigten und einer gereinigten Platte Unterschiede von 10 % der Gesamtbelastung zeigen können. Dann erfordert eine genaue Horizontalstellung der Platte längere Zeit und Übung, ausserdem können bei lufterfüllten Flüssigkeiten aufsteigende und an der Platte haftende Luftbläschen leicht das Resultat beeinträchtigen. Für Temperaturuntersuchungen lässt sich die Methode noch weniger verwenden, da es schwer ist, eine gleichmässige Erwärmung von Platte und Flüssigkeit zu erzielen, auch ändern die durch die aufsteigenden Dämpfe an der Platte und dem Wagebalkenarm niederschlagenden Flüssigkeitsmengen fortwährend das Belastungsgewicht. Wie ein Blick auf die beigefügte Tafel zeigt, haben beide Methoden für 20 ° Cels. bei Glycerin in Wasser und Glycerin in Alkohol immerhin übereinstimmende Gesetze ergeben. Auch die Resultate überschreiten, wie die Litteratur zeigt, nicht die Differenz, welche sonst mittelst zweier verschiedener Methoden erzielt wurde. Bei Terpentin in Alkohol zeigt sich jedoch eine bedeutendere Abweichung. Während sich die mittelst Stimmgabeln erlangten Werte als eine

nach der Abscissenaxe zugekrümmte Kurve darstellen, gaben die mittelst Abreissplatten erlangten Werte eine gerade Linie, welche die oben erwähnte Kurve zweimal schneidet. Eine Erklärung hierfür findet man in dem Umstand, dass die Platte von Terpentin in Alkohol trotz sorgfältigster Reinigung nicht so gut benetzt wurde, als wie bei den anderen Lösungen. Bei den Versuchen wurde dies auch am unregelmässigen Zurückweichen der Flüssigkeit beim Abreissen und nach dem Abnehmen der Platte an dem Bestreben der Flüssigkeit, sich auf der Platte leichter zusammenzuziehen als die anderen Flüssigkeiten, bemerkt. Jedenfalls wird hier den mit Stimmgabeln erlangten Werten grössere Vertrauenswürdigkeit zugeschrieben.

Untersucht man die mittelst der Methode der kleinsten Quadrate gefundenen Gleichungen auf ein Minimum, so findet man für die Gleichung von Glycerin in Wasser

$$T = 0{,}0715 - 0{,}00101\,a + 0{,}0000152\,a^2$$

ein Minimum bei 33,2 %, für die Gleichung von Glycerin in Alkohol

$$T = 0{,}03220 - 0{,}0002301\,a + 0{,}00000251\,a^2$$

ein Minimum bei 53,5 %, und endlich für die Gleichung von Terpentin in Alkohol

$$T = 0{,}03381 - 0{,}0001345\,a + 0{,}000001604\,a^2$$

ein Minimum bei 41,9 %.

Für die Lösung von Glycerin in Wasser stimmt die Lage dieses Minimums, welches sich nach der Berechnung zu 0,0547 ergiebt, wie auch Fig. 3 der Tafel zeigt, nahe mit der Lage des durch die Abreissversuche gewonnenen Minimum überein.

Es soll hier nun noch auf einen Punkt der Matthiessen-Thomson'schen Methode zurückgegangen werden, der auch von meinen Vorgängern Riess und Ochsé beleuchtet wurde. Riess schreibt in seiner Dissertation:[1]

[1] Riess. Exner's Rep. d. Physik 1890, S. 21.

„Aus der Tabelle III geht hervor, dass die Thomson'sche Formel nicht genau mit dem Experiment übereinstimmende Werte liefert. Die Differenzen sind so bedeutend, dass sie durch Beobachtungsfehler allein nicht zu erklären sind;"

und Ochsé:[2]

„Die Werte, welche ich erhielt, werden sich nur wieder aus Beobachtungen ergeben, die mit einer Stimmgabel von 256 Schwingungen ausgeführt worden sind."

Beide Autoren behaupten, dass für ein und dieselbe Lösung bei ein und derselben Temperatur für verschiedene Stimmgabeln verschiedene Werte von $\lambda$ resp. $T$ erlangt würden. Es steht dies mit den Resultaten von Matthiessen,[2] welcher bei ein und derselben Flüssigkeit für die verschiedensten Stimmgabeln, abgesehen von kleinen Differenzen, welche sich aus Beobachtungsfehlern erklären, dieselben Resultate erhalten hat, durchaus im Widerspruch. Es ist wohl leicht verständlich, dass, wenn dies wirklich der Fall wäre, dies den Wert der Matthiessen-Thomson'schen Methode sehr beeinträchtigen würde. Es sind deshalb hier die Konzentrationsversuche stets mit mehreren Stimmgabeln durchgeführt worden. Wie ein Blick auf die Tabellen zeigt, sind die hier vorhandenen Differenzen sehr gering, so dass sie genügende Erklärung in Fehlern bei der Bestimmung der Schwingungszahl der Stimmgabeln oder in Beobachtungsfehlern finden. Die Differenzen in den Arbeiten der früheren Beobachter können dadurch erklärt werden, dass sie dieselbe Lösung zu verschiedenen Zeiten mit verschiedenen Stimmgabeln untersucht haben. Die Verschiedenheit in der unvermeidlichen Verunreinigung der Oberfläche, oder die Verschiedenheit des Luftgehalts kann sehr leicht zu grösseren Abweichungen führen,

[1] Ochsé. Exner's Rep. d. Physik, Bd. XXVI, 1890, S. 662.

[2] Ann. der Physik und Chemie, N. F., Band XXXVIII, 1889.

abgesehen, dass sich bei mehrmaliger Herstellung derselben Lösung die Fehler bei Herstellung der Lösung zu den anderen Fehlern, als den der Schwingungszahl und den Beobachtungen zuaddieren können. Es gereicht mir die vorige Erkenntnis zur besonderen Freude, da sie die Beobachtungen und Ansichten meines hochverehrten Lehrers bestätigt.

Was nun noch den absoluten Wert der in dieser Schrift enthaltenen Beobachtungen angeht, so mögen die gewonnenen Resultate mit den Resultaten einiger anderen Autoren, soweit solche in der Litteratur vorhanden sind, verglichen werden. Ochsé findet für destilliertes Wasser bei 8—55 ° Cels. $T_1 = 0{,}07953 - 0{,}000333$ t, während hier für 20—60 ° Cels. $T_1 = 0{,}07746 - 0{,}000388$ t gefunden wurde. Die beiden Formeln ergeben für

| nach | 20 ° | 30 ° | 40 ° | 50 ° |
|---|---|---|---|---|
| Ochsè | 0,0729 | 0,0695 | 0,0662 | 0,0629 |
| * | 0,0697 | 0,0658 | 0,0620 | 0,0581 |

Beide Gleichungen liefern also nahe übereinstimmende Resultate.

Von der von Brunner[1] auf Grund seiner Beobachtungen aufgestellten Gleichung für die Steighöhe in einer Röhre von 1 mm Radius $h = 15{,}33215 - 0{,}0286396$ t, die, da die Steighöhe gleich der doppelten Oberflächenspannung in Röhren von 1 mm Radius ist, für uns bezogen auf Centimetergramm lauten würde, $T = 0{,}0766607 - 0{,}000143198$ t, weichen beide Gleichungen bedeutend ab, da hier der Temperatur-Coefficient kaum halb so gross ist, wie oben gefunden wurde. Matthiessen findet für Wasser bei 15—20 ° Cels. die Konstante $T = 0{,}074$. Hier wurde für 20 ° Cels. gefunden $T = 0{,}0712$. Wenn man

[1] Untersuchungen über die Kohäsion der Flüssigkeiten. Pogg. Ann. Bd. 70, S. 518.

den Temperaturunterschied berücksichtigt, dann dürften beide Resultate als nahe übereinstimmend angesehen werden.

Für Lösungen von Glycerin in Wasser mit Kapillarröhren hat Traube[1] folgende Werte, bezogen auf Röhren von 1 mm Radius, gefunden.

| $\alpha$ | s | $a^2$ | $T$ |
|---|---|---|---|
| 5 % | 1,0103 | 14,551 | 7,350 |
| 10 „ | 1,0207 | 14,401 | 7,349 |
| 20 „ | 1,0403 | 14,034 | 7,300 |

Die Werte sind also höher, wie solche hier ermittelt wurden. Für absoluten Alkohol hat Matthiessen für 15—20° Cels. die Konstante $T = 0{,}0366$ gefunden. Hier wurde für 20° Cels. $T = 0{,}0341$ ermittelt. Die Differenz erklärt sich aus der Temperaturabweichung.

Zum Vergleich für die Versuche mit Abreissplatten sollen hier einige Werte von Gay-Lussac[2] und von Buys-Ballot[3] angeführt werden:

Für die Gay-Lussac'schen Versuche ist der Wert von $a^2$ nach der Poisson'schen Gleichung ausgerechnet.

Gay-Lussac.

| Flüssigkeit | t | s | p | $a^2$ |
|---|---|---|---|---|
| Wasser | 8,5° | 1,000 | 59,40 g | 0,1528 |
| Alkohol | 8,5° | 0,820 | 31,08 „ | 0,0607 |
| Terpentin | 8° | 0,869 | 34,10 „ | 0,0669 |

Die verwendete Abreissplatte hatte 118,37 mm ⌀ und 11 000 qmm Querschnitt. Die Werte sind, wie aus den Tabellen ersichtlich ist, etwas höher, wie die hier gefundenen, jedoch ist die Übereinstimmung befriedigend zu nennen.

[1] Journal f. prakt. Chemie. N. F. 31, 1885, S. 207.

[2] In Laplace Supplément à la Théorie de l'action capillaire. Die Werte sind wiedergegeben in Wüllner, Lehrbuch der Experimentalphysik, V. Aufl. I. Band, S. 363.

[3] Buys-Ballot, de Synaphia et Prosaphia, Trajecti ad Rhenum. (Utrecht) und Pogg. Ann. Bd. 73, S. 488, 1848.

Buys-Ballot.

| Flüssigkeit | t | s | p | $a^2$ |
|---|---|---|---|---|
| Wasser | 20° | 1,000 | — | 0,1452 |
| Alkohol | — | — | — | 0,0624 |

Die verwendete Abreissplatte hatte 56 mm ϕ und 2463,01 qmm Querschnitt.

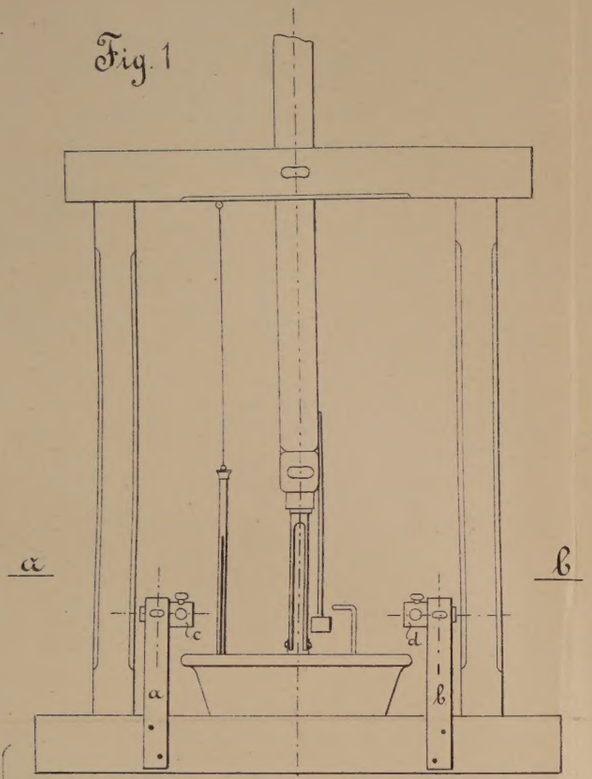
Auch die Übereinstimmung dieser Resultate mit den hier gefundenen ist befriedigend.

Wenn man nun zum Schluss nochmals die Ergebnisse dieser Arbeit überblickt, so findet man, dass sich mit dieser Methode dieselben Gesetze ergeben haben, wie solche mittelst anderer Methoden gefunden wurden. Wenn die Resultate auch keine völlige Übereinstimmung mit den durch andere Methoden gewonnenen Resultaten zeigen, so rührt dies wohl von den jeder Methode anhaftenden Fehlern, teils der Beobachtung, teils der theoretischen Formeln her. Jedenfalls verdienen die mit der Matthiessen-Thomson'schen Methode gewonnenen Werte dieselbe Beachtung wie die mit anderen Methoden gefundenen, wobei für diese Methode noch als besonderer Vorzug die leichte und bequeme Anstellbarkeit der Versuche hervorgehoben werden mag.

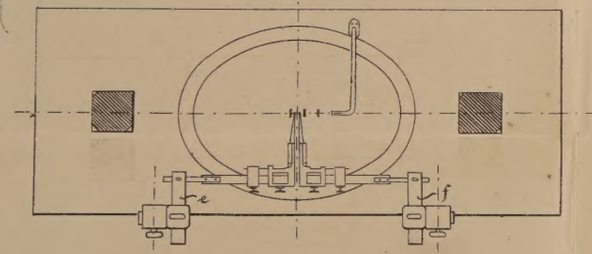
Die vorliegenden Untersuchungen sind im physikalischen Institut der Universität Rostock auf Veranlassung und unter Aufsicht des Herrn Prof. Ludwig Matthiessen ausgeführt worden.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, meinem hochverehrten Lehrer für die vielfache Anregung, welche er mir im Verlauf dieser Arbeit zu Teil werden liess, sowie für das lebhafte Interesse, welches er derselben entgegenbrachte, auch an dieser Stelle meinen besten Dank auszusprechen.

Fig. 1



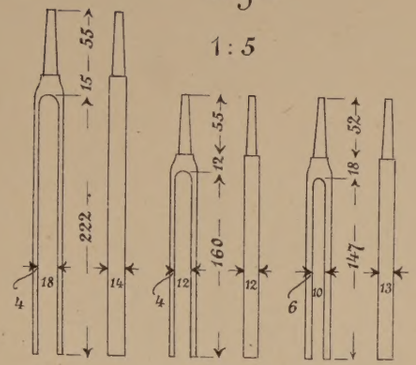

Aufriss
1 : 10




Grundriss
Schnitt a–b

Fig. 2

1 : 5




n = 64,7 n = 128 n = 229

Fig. 5

Kali-Seife in Wasser $T = f(a)$

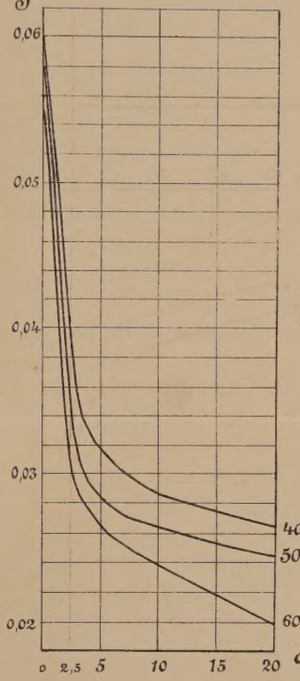



Fig. 4

Glycerin in Wasser $T = f(t)$

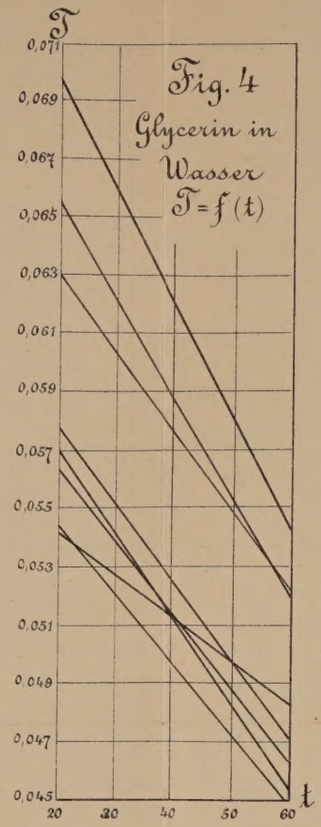



Fig. 3

Glycerin in Wasser $T = f(a)$

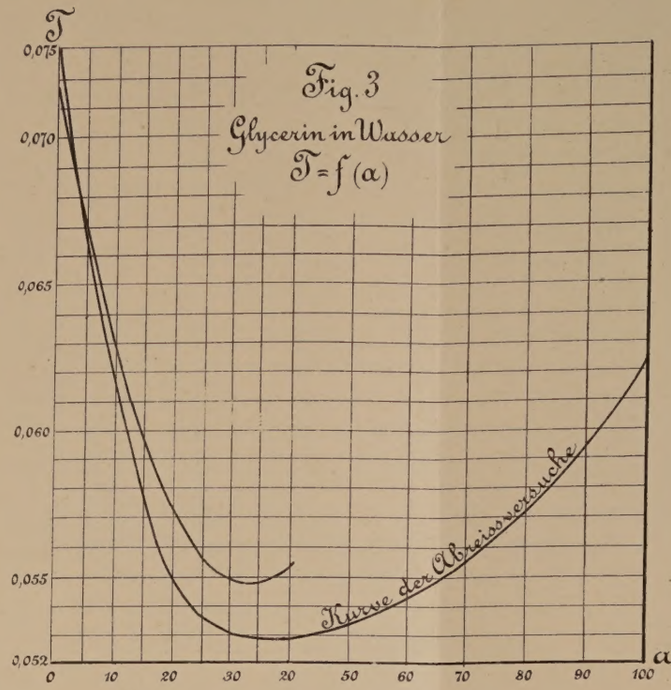



Fig. 6

Glycerin in Alkohol $T = f(a)$

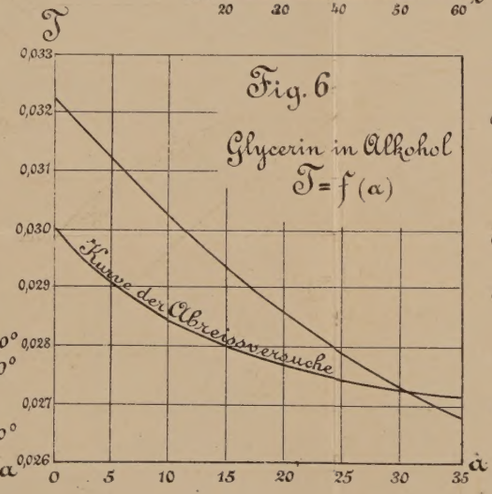
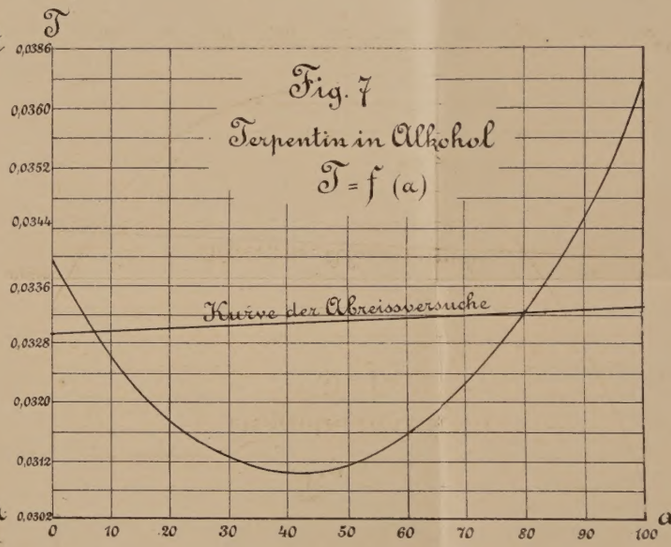



Fig. 7

Terpentin in Alkohol $T = f(a)$